



高等职业教育轨道交通类校企合作系列教材

GAODENG ZHIYE JIAOYU GUIDAO JIAOTONG LEI XIAOQI HEZUO XILIE JIAOCAI

土木工程材料

TUMU GONGCHENG CAILIAO

主 编 ● 李 辉 李 坤
副主编 ● 张 佳 李秀换
主 审 ● 解宝柱



高等职业教育轨道交通类校企合作系列教材

土木工程材料

主 编 李 辉 李 坤
副主编 张 佳 李秀换
主 审 解宝柱

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

土木工程材料 / 李辉, 李坤主编. —成都: 西南
交通大学出版社, 2017.3
高等职业教育轨道交通类校企合作系列教材
ISBN 978-7-5643-5307-0

土... 李... 李... 土木工程 - 工
程材料 - 高等职业教育 - 教材 TU5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 038781 号

高等职业教育轨道交通类校企合作系列教材

土木工程材料

主编 李 辉 李 坤

责 任 编 辑	姜锡伟
封 面 设 计	何东琳设计工作室
出 版 发 行	西南交通大学出版社 (四川省成都市二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发 行 部 电 话	028-87600564 028-87600533
邮 政 编 码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	成都蓉军广告印务有限责任公司
成 品 尺 寸	185 mm × 260 mm
印 张	15.5
字 数	386 千
版 次	2017 年 3 月第 1 版
印 次	2017 年 3 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-5307-0
定 价	39.80 元

课件咨询电话: 028-87600533

图书如有印装质量问题 本社负责退换

版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

本书是高等职业教育轨道交通类校企合作系列教材。本书主要面向铁道工程、道路与桥梁工程和建筑工程等专业。本书在编写过程中，体系设计合理、循序渐进，符合学生的认知规律；理论知识够用，以实用为原则；同时吸收了工程施工、养护企业一线工作人员的建议与意见，使教学更具针对性。

本书由辽宁铁道职业技术学院的李辉和李坤担任主编，辽宁铁道职业技术学院张佳和李秀换担任副主编。具体编写分工如下：李辉编写第四章、第五章、第六章，李坤编写第七章、第八章，张佳编写绪论、第一章、第二章，李秀换编写第三章。本书由解宝柱主审，再此感谢姜雄基提出的宝贵意见，在此表示衷心的感谢。

限于编者的理论水平和实践经验，书中疏漏及不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2017年2月

目 录

绪 论	1
0.1 土木工程材料的定义	1
0.2 土木工程材料的分类	2
0.3 土木工程材料在土木工程中的地位	3
0.4 土木工程材料的发展	3
0.5 土木工程材料的检验方法及标准化	4
0.6 本课程学习的目的和要求	6
本章小结	6
复习思考题	6
第一章 土木工程材料的基本性质	7
1.1 材料的组成、结构与构造及其对材料性质的影响	7
1.2 土木工程材料的基本性质及材料的体积组成	11
1.3 土木工程材料的物理性质	12
1.4 土木工程材料的力学性质	24
1.5 材料的耐久性	30
本章小结	31
复习思考题	32
第二章 水 泥	33
2.1 硅酸盐水泥	33
2.2 硅酸盐水泥的水化反应与凝结硬化	36
2.3 掺混合材硅酸盐水泥的组成与水泥	46
2.4 通用硅酸盐水泥	48
2.5 特种水泥	52
本章小结	58
复习思考题	59

第三章 混凝土	60
3.1 混凝土概述	61
3.2 普通混凝土的组成材料及技术要求	63
3.3 混凝土拌合物的和易性	84
3.4 混凝土的强度	88
3.5 混凝土的变形性能	94
3.6 混凝土的耐久性	97
3.7 混凝土的质量控制和强度评定	101
3.8 混凝土配合比设计	106
3.9 其他混凝土	114
本章小结	118
复习思考题	119
第四章 无机结合料稳定材料	121
4.1 概 述	121
4.2 水泥稳定类混合料	123
4.3 石灰稳定类混合料	127
4.4 石灰粉煤灰稳定类混合料	130
本章小结	132
复习思考题	133
第五章 沥青材料	134
5.1 沥青及其分类	134
5.2 石油沥青	135
5.3 石油沥青的技术性质	143
5.4 煤沥青	153
5.5 乳化沥青	155
5.6 其他沥青	159
本章小结	161
复习思考题	163
第六章 沥青混合料	164
6.1 沥青混合料的分类	164
6.2 沥青混合料的组成结构和强度理论	167
6.3 沥青混合料的技术性质	172
6.4 沥青混合料对组成材料的要求	182

6.5 沥青混合料的组成设计	186
本章小结	193
复习思考题	194
第七章 砌筑材料	195
7.1 砖	196
7.2 砌 块	205
7.3 墙用板材	211
7.4 砌筑用石材	214
本章小结	216
复习思考题	216
第八章 金属材料	217
8.1 钢的冶炼与分类	217
8.2 钢材的技术性质	220
8.3 建筑钢材的牌号与选用	225
8.4 钢材的锈蚀与防止	233
8.5 钢 轨	234
复习思考题	239
参考文献	240

绪 论



本章描述

本章主要讲述了：土木工程材料的含义、分类以及在各种土木工程建设中的地位 and 作用；合理选择和使用常见的土木工程材料；了解现行的技术标准；明确土木工程材料的学习方法，掌握科学的试验方法。



教学目标

1. 能力目标

能够合理选用、使用常用的土木工程材料。

2. 知识目标

掌握土木工程材料的分类。

了解土木工程材料的发展。

3. 素质目标

培养学生爱岗敬业、细心踏实、勇于进取的工作作风。

具备严谨、科学、勇于创新的工作态度。

具备较强的心理素质和良好的身体素质。

0.1 土木工程材料的定义

土木工程是建造各类工程设施（建筑物和构筑物）的科学技术的统称，涵盖建筑工程、交通土建工程、桥梁工程、铁道工程等专业。构筑物就是不具备、不包含或不提供人类居住功能的人工建造物；具备、包含或提供人类居住功能的人工建造物称为建筑物。

土木工程所用的各种材料及其制品，统称为土木工程材料或建筑材料。各种土木工程建筑物都是由工程材料组成的，没有土木工程材料，就没有土木工程。广义上讲，土木工程材料指建造建筑物和构筑物的所有材料，包括使用的各种原材料、半成品、成品等的总称，如黏土、生石灰、混凝土等。狭义上讲，土木工程材料是指直接构成建筑物和构筑物实体的材料，如混凝土、水泥、钢筋、黏土砖、玻璃等。

总之，土木工程材料必须具备两个基本要求：

（1）满足建筑物和构筑物本身的技术性能要求，保证能正常使用；有足够的强度，能够安全地承受设计荷载。

（2）在其使用过程中，能抵御周围环境的影响与有害介质的侵蚀，保证建筑物和构筑物的合理使用寿命；减少维修费用，有较强的耐久性，同时也不能对周围环境产生危害。

0.2 土木工程材料的分类

土木工程材料在组成成分、结构和构造上多有不同，其品种繁多，性能也各不相同，在土木工程中所起的作用各异，而且价格相差悬殊。土木工程材料在土木工程中的用量很大，因此，正确选择和合理使用土木工程材料，对土木工程结构物的安全、实用、美观、耐久及造价有着重大的意义。为了研究、使用和论述方便，我们常从不同角度对土木工程材料进行分类。

1. 按主要化学组成成分分类

根据材料的化学成分，土木工程材料可分为有机材料、无机材料以及复合材料三大类，如表 0-1 所示。

表 0-1 土木工程材料按化学成分分类

分 类		实 例	
无机材料	金属材料	黑色金属	钢、板及其合金、合金钢、不锈钢等
		有色金属	铝、铜、铝合金等
	非金属材料	天然石材	砂、石及石材制品
		烧土制品	黏土砖、瓦、陶瓷制品等
		胶凝材料及制品	石灰、石膏及制品、水泥及混凝土制品等
		玻璃	普通平板玻璃、特种玻璃等
		无机纤维材料	玻璃纤维、矿物棉等
有机材料	植物材料	木材、竹材、植物纤维及制品等	
	沥青材料	煤沥青、石油沥青及其制品等	
	合成高分子材料	塑料、涂料、胶黏剂、合成橡胶等	
复合材料	有机与无机非金属材料复合	聚合物混凝土、玻璃纤维增强塑料等	
	金属与无机非金属材料复合	钢筋混凝土、玻璃纤维混凝土等	
	金属与有机材料复合	PVC 钢板、有机涂层铝合金板等	

2. 按使用功能分类

根据在建筑物中的部位或使用性能不同，土木工程材料大体可分为建筑结构材料、墙体材料、建筑功能材料三大类，如表 0-2 所示。

表 0-2 土木工程材料按使用性能分类

土木工程材料	建筑结构材料	砖混结构：石材、砖、水泥混凝土、钢筋 钢木结构：建筑钢材、木材
	墙体材料	砖及砌块：普通砖、空心砖、硅酸盐砖及砌块 墙板：混凝土墙板、石膏板、复合墙板
	建筑功能材料	防水材料：沥青及其制品 绝热材料：石棉、矿棉、玻璃棉、膨胀珍珠岩石 吸声材料：木丝板、毛毡、泡沫塑料 采光材料：窗用玻璃 装饰材料：涂料、塑料装饰材料、铝材

3. 按材料来源分类

根据材料来源，土木工程材料可分为天然材料与人造材料。而人造材料又可按冶金、窑业（水泥、玻璃、陶瓷等）、石油化工等材料制造部门来分类。

工程中我们一般把各种分类方法经适当组合后对材料种类进行划分，如装饰砂浆、沥青防水材料等。

0.3 土木工程材料在土木工程中的地位

1. 一切建筑结构的物质基础

土木工程材料和建筑设计、建筑结构、公路、城市道路、建筑经济及建筑施工等学科分支一样，是土木和交通运输工程学科极为重要的一部分。土木工程材料是土木工程的物质基础。

2. 土木工程材料与建筑、结构和施工之间存在着相互依存、相互促进的关系

从根本上说，材料是基础，材料决定了土木构造物的形式和施工方法。一个优秀的土木工程师总是能把建筑艺术和以最佳方式选用的土木工程材料融合在一起。土木工程师只有在很好地了解土木工程材料的性能后，才能根据力学计算，准确地确定土建构件的尺寸和创造出先进的结构形式。土建结构的受力特性和材料特性是否有机统一，是否合理地使用土木工程材料，直接影响到土木工程的坚固、耐久和适用性。而土木工程施工的全过程实质上是按设计要求把土木工程材料逐步变成建筑物的过程。它涉及材料的选用、运输、储存以及加工等诸方面。

3. 决定工程造价和经济效益

目前，在我国的土木工程的总造价中，土木工程材料的费用占总费用的 40%~70%。选择质优价廉的土木工程材料，对于降低工程造价、获得较大的经济效益至关重要。

4. 决定建筑物和构筑物的功能和使用寿命

土木工程材料的性能，很大程度上决定了建筑物和构筑物的使用功能。如轻质材料和保温材料的出现对减轻建筑物的自重、提高抗震性、改善工作和居住性能都起到了十分重要的作用。

5. 建筑物和构筑物的可靠度评价，相当程度地依存于材料的可靠度评价

总之，从事土木工程的技术人员都必须了解和掌握土木工程材料的有关技术知识，并使所采用的材料最大限度地发挥其效能，合理、经济地满足土木工程的各种要求。新材料的出现，可以促使土建构造物形式的变化、设计方法的改进和施工技术的革新。

0.4 土木工程材料的发展

材料科学和材料（含土木工程材料）本身都是随着社会生产力和科技水平的提高而逐渐发展的。自古以来，我国劳动者在土木工程材料的生产和使用方面曾经取得了许多重大成就。

如始建于公元前 7 世纪的万里长城，所使用的砖石材料就达 1 亿立方米；福建泉州的洛阳桥是 900 多年前用石材建造的，其中一块石材就有 200 余吨；山西五台山木结构的佛光寺大殿已有千余年历史仍完好无损；等等。这些都有力证明了我国的土木工程材料在生产、施工和使用方面充满了智慧和技巧。

社会进步、环境保护和节能降耗的需要，对土木工程材料提出了更高、更多的要求。在今后一段时间里，土木工程材料将有如下的发展趋势。

1. 轻质、高强

传统的砖石材料和钢筋混凝土材料具有自重大的缺点，限制了建筑物向高层、大跨度方向进一步发展。通过减轻土木工程材料的自重，从而尽量减小结构物的自重，可以促进土木工程向高层、大跨方向发展。例如，在高层建筑中采用的空心砖是一种典型的轻质高强的土木工程材料。

2. 节约能源

土木工程材料的生产能耗和建筑物使用能耗，在国家总能耗中占 20%~35%。因此，研制和生产低能耗的新型节能土木工程材料是构建节约型社会的需要。

3. 绿色化

生产土木工程材料所用的原料，应该尽可能少占用天然资源，应充分利用工业废渣、生活废渣、建筑垃圾生产土木工程材料，将各种废渣尽量地资源化，从而达到保护环境、节约自然资源，促进人类社会可持续发展的目的。例如，矿渣硅酸盐水泥和粉煤灰硅酸盐水泥都是将废渣（矿渣和粉煤灰）作为生产相应品种水泥的原材料。

4. 智能化

所谓智能化材料，是指材料本身具有自我诊断和预告破坏、自我修复的功能，以及可重复利用性。土木工程材料向智能化方向发展，是人类社会向智能化社会发展过程中的关键一步。例如，自动调光玻璃可以根据外部光线的强弱，自动调节投光率，保持室内光线的强度平衡，既避免了强光对人的伤害，又可调节室温和节约能源。

从天然材料发展到人造材料，从无机材料发展到有机材料，从单一材料发展到复合材料，从传统材料发展到新型材料，土木工程材料的生产将越来越注重保护自然资源、利用再生资源、减少能源消耗和环境污染。土木工程材料的发展与建筑设计、施工以及材料科学的发展有着密切联系。一个国家使用的材料品种和数量的多寡是衡量其科学技术和经济发展水平的重要标志。

0.5 土木工程材料的检验方法及标准化

1. 土木工程材料的质量检验方法

土木工程材料的质量检验通常可采用实验室内原材料性能检验、实验室内模拟结构鉴定及现场鉴定等方法。本课程主要着重介绍实验室内材料性能的检验，包括以下内容：

- (1) 物理性能检验。
- (2) 力学性能检验。
- (3) 材料与水有关的性能检验。

2. 土木工程材料的标准化

土木工程材料涉及的标准主要包括两类。一是产品标准，内容主要包括：产品规格、分类、技术要求、检验方法、验收规则、应用技术规程等；二是工程建设标准，内容有土木工程材料选用有关的标准，有各种结构设计规范、施工及验收规范等。土木工程材料规范共 145 本，其中水泥类 31 本、混凝土 12 本、钢材 10 本、木材 13 本、砖石和砌块 20 本、玻璃和陶瓷 14 本、防水材料 11 本、饰面和保温材料 8 本、建筑门窗 12 本、管道 13 本。涉及混凝土的规范有：

- [1] 《混凝土外加剂应用技术规范》(GB 50119—2003)
- [2] 《硅酸盐建筑制品用砂》(JC/T 622—1996)
- [3] 《普通混凝土配合比设计规程》(JGJ/T 55—96)
- [4] 《砌筑砂浆配合比设计规程》(JGJ/T 98—96)
- [5] 《天然沸石粉在混凝土与砂浆中应用技术规程》(JGJ/T 112—97)
- [6] 《混凝土碱含量限值标准》(CECS 53:93)
- [7] 《轻集料及其试验方法 第 1 部分：轻集料》(GB/T 17431.1—1998)
- [8] 《轻集料及其试验方法 第 2 部分：轻集料试验方法》(GB/T 17431.2—1998)
- [9] 《砂、石碱活性快速试验方法》(CECS 48:93)
- [10] 《建筑用卵石、碎石》(GB 14685—2011)
- [11] 《混凝土强度检验评定标准》(GB/T 50107—2010)
- [12] 《普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准》(JGJ 52—2006)

目前，我国常用的标准按适用领域和有效范围，分为四级：

- (1) 国家标准。分强制性标准（代号为 GB）和推荐性标准（代号 GB/T）。
- (2) 行业标准。某些行业标准代号见表 0-3。

表 0-3 几个行业的标准代号

行业名称	建工行业	黑色冶金行业	石化行业	交通行业	建材行业	铁路行业
标准代号	JG	YB	SH	JT	JC	TB

- (3) 地方标准（代号 DB）。
- (4) 企业标准（代号 QB）。

有关工程建设方面的技术标准的代号，应在部门代号后加 J。地方标准或企业标准所制定的技术要求应高于类似（或相关）产品的国家标准。

技术标准代号按照标准名称、部门代号、编号和批准年份的顺序编写，按要求执行的程度分为强制性标准和推荐标准（在部门代号后加“/T”）。例如，1992 年制定的建材行业推荐性 479 号建筑石灰的标准为：《建筑石灰》(JC/T 479—92)。

0.6 本课程学习的目的和要求

1. 本课程学习的目的与主要内容

土木工程材料课程是针对土木工程、工程管理、水利电力等专业开设的专业技术基础课。通过学习，学生应掌握材料的基本理论和基础知识，为后续专业课程的学习及以后从事土木工程正确选用材料打下良好的基础。

本教材重点介绍了当前土木工程常用的材料，如水泥、石灰、混凝土、钢材、沥青材料等，并简要介绍了建筑功能材料。对于各类材料，本书除重点介绍了技术性质外，对材料的生产、组成、结构与构造、技术标准也做了简要介绍，另外还简要介绍了检测这些技术性能指标的试验方法。

2. 本课程的理论课学习任务

学习时，可把相关内容分成三个层次：

第一层次是土木工程材料基础理论知识。所谓基础理论知识，是指每类材料的生产工艺，材料的组成、结构、构造，对该部分，要重点领会其对材料性能的影响。

第二层次是土木工程材料的基本性质。这一层次要求学生重点掌握，在了解基本概念的基础上，要能运用已有的理论知识对基本性质的改善进行分析，并能够结合工程实际，正确选用材料。对于现场制作的材料，要能根据材料性能要求设计计算材料配比。

第三层次为土木工程材料质量检验的内容。学习该部分时，学生需要结合试验理解基本技术性质要求的意义。

3. 本课程的实验课学习任务

实验是本课程的重要教学环节。通过实验可验证所学的基础理论，增加感性认识，加深对理论知识的理解，熟悉试验鉴定、检验和评定材料质量的方法，掌握一定的试验技能，这对培养学生分析与判断问题的能力、试验工作能力以及严谨的科学态度十分有益，也为今后从事既有材料的改性、新材料的研制以及材料方面的科学研究奠定基础。

本章小结

本章主要介绍了土木工程材料的定义。学生应重点掌握材料的分类，了解土木工程材料的发展历程及其在土木工程中的地位。

复习思考题

1. 土木工程材料的分类有哪些？
2. 土木工程材料在土木工程中的地位如何？
3. 土木工程材料未来的发展方向是什么？
4. 材料的技术标准有哪些？

第一章 土木工程材料的基本性质



本章描述

本章通过各种土木工程特点的分析,说明土木工程材料的物理性质、力学性质及耐久性;重点讲解土木工程材料的密度、与水有关的性质、强度、弹性、黏性与塑性。通过学习,学生应能够对砂石的表观密度、堆积密度、吸水率和含水率进行检测。



教学目标

1. 能力目标

能够根据材料的基本性质,合理选用、使用常用的土木工程材料。

2. 知识目标

了解材料的组成。

掌握材料的基本性质。

3. 素质目标

培养学生爱岗敬业、细心踏实、勇于进取的工作作风。

具备严谨、科学、勇于创新的工作态度。

具备较强的心理素质和良好的身体素质。

1.1 材料的组成、结构与构造及其对材料性质的影响

1.1.1 材料的组成

材料的组成包括材料的化学组成、矿物组成和相组成。它不仅影响材料的化学稳定性,而且也是决定材料物理及力学性质的重要因素。

1. 化学组成

化学组成是指材料的化学元素及化合物的种类和数量。无机非金属材料化学成分常用各氧化物的含量来反映。土木工程材料的诸多性质都与其化学成分有关,化学组成是决定材料化学性质(耐腐蚀性、燃烧性等)、物理性质(耐水性、耐热性、保温性等)、力学性质(强度、变形等)的主要因素之一。

2. 矿物组成

矿物是指无机非金属材料中具有特定的晶体结构和特定的物理力学性能的组织结构。矿物组成是指构成材料的矿物的种类和数量。一些建筑材料的矿物组成是决定其性质的主要因素,例如天然石材、无机胶凝材料等。最明显的例子是水泥,水泥是一种无机胶凝材料,它

表现出的各种特性就与它的水泥熟料矿物组成有着直接的关系。

3. 物相组成

物相是指具有相同的物理、化学性质，以及一定的化学成分和结构特征的物质。自然界中的物质可分为气相、液相、固相。凡由两相或两相以上的物质组成的材料称为复合材料，土木工程材料大多是多相固体。

1.1.2 材料的结构

材料的结构对材料的性质有重要影响。材料的结构一般分为宏观、细观和微观三个层次。

1. 宏观结构

土木工程材料的宏观结构是指肉眼可以看到或借助放大镜可观察到的（毫米级）粗大组织。其尺寸在 10^{-3} m 级以上。

（1）散粒结构。

散粒状构造指呈松散颗粒状的材料，有密实颗粒与轻质多孔颗粒之分。前者如砂子、石子等，因其致密，强度高，适合做承重的混凝土骨料。后者如陶粒、膨胀珍珠岩等，因具多孔结构，适合做绝热材料。粒状构造的材料颗粒间存在大量的空隙，其空隙率主要取决于颗粒大小的搭配。密实颗粒用作混凝土骨料时，要求紧密堆积；轻质多孔粒状材料用作保温填充料时，则希望空隙率大一些好。

（2）聚集结构。

聚集结构是指由骨料与胶凝材料胶结成的结构。其综合性能好、价格较低，如水泥混凝土、砂浆沥青混凝土、烧土制品、塑料等。

（3）多孔结构。

多孔构造的材料其内部存在大体上呈均匀分布的独立的或部分相通的孔隙，含孔率较高，孔隙又有大孔和微孔之分。具有多孔构造的材料，其性质取决于孔隙的特征、多少、大小及分布情况。一般来说，这类材料的强度较低，抗渗性和抗冻性较差，绝热性较好，如微孔结构有水泥制品、石膏制品及黏土砖瓦等，多孔结构有加气混凝土、泡沫塑料等。

（4）致密结构。

密实构造的材料内部基本上无孔隙，结构致密。这类材料的特点是强度和硬度较高，吸水性小，抗渗和抗冻性较好，耐磨性较好，绝热性差，如钢材、天然石材、玻璃、玻璃钢等。

（5）纤维结构。

纤维构造的材料内部组成有方向性，纵向较紧密而横向疏松，组织中存在相当多的孔隙。这类材料的性质具有明显的方向性，一般平行于纤维方向的强度较高，导热性较好，如木材、竹、玻璃纤维、石棉等。

（6）层状结构。

层状构造的材料具有叠合结构，它是用胶结料将不同的片材或具有各向异性的片材胶合而成整体，其每一层的材料性质不同，但叠合成层状构造的材料后，可获得平面各向同性，更重要的是可以显著提高材料的强度、硬度、绝热或装饰等性质，扩大其使用范围，如胶合板、纸面石膏板、塑料贴面板等。

(7) 纹理结构。

天然材料在生长或形成过程中，自然造成天然纹理，如木材、大理石、花岗石等板材，或人工制造材料时特意造成纹理，如瓷质彩胎砖、人造花岗石板材等，这些天然或人工造成的纹理，使材料具有良好的装饰性。为了提高建筑材料的外观美，目前广泛采用仿真技术，已研制出多种纹理的装饰材料。

2. 细观结构

细观结构（原称亚微观结构）是指用光学显微镜可以观察到的微米级的组织结构。其尺寸范围为 $10^{-6} \sim 10^{-3}$ m。细观结构包括：

- (1) 晶相种类、形状、颗粒大小及其分布情况。
- (2) 玻璃相的含量及分布。
- (3) 气孔数量、形状及分布。

3. 微观结构

微观结构是指借助电子显微镜或 X 射线，可以观察到的材料的原子、分子级的结构。微观结构的尺寸范围在 $10^{-10} \sim 10^{-6}$ m。材料的微观结构是指物相的种类、形态、大小及其分布特征。它与材料的强度、硬度、弹塑性、熔点、导电性、导热性等重要性质有着密切的关系。

土木工程材料的使用状态均为固体，固体材料的相结构基本上可分为晶体、玻璃体、胶体三种形式。不同结构的材料，各具不同特性。

(1) 晶体。

晶体是内部质点（原子、离子、分子）在空间上按特定的规则呈周期性排列时所形成的结构。晶体具有特定的几何形状、固定的熔点和化学稳定性。晶体微观上显示各向异性，但实际应用的晶体材料，通常是由许多细小的晶粒杂乱排列组成的，故晶体材料在宏观上显示为各向同性。

晶体内质点的相对密集程度和质点间的结合力，对晶体材料的性质有着重要的影响。例如在硅酸盐矿物材料（如陶瓷）的复杂晶体结构（基本单元为硅氧四面体）中，质点的相对密集程度不高，且质点间大多是以共价键联结，变形能力小，呈现脆性。

材料的化学成分相同，但形成的晶体结构可以不同，其性能也就大有差异。如石英和硅藻土，化学成分同为 SiO_2 ，但各自性能颇不相同。另外，晶体结构的缺陷，对材料性质的影响很大。

(2) 玻璃体。

将熔融物质迅速冷却（急冷），使其内部质点来不及按规则排列就凝固，这时形成的内部质点无序排列的固体或固态液体结构即为玻璃体，又称为无定形体或非晶体。玻璃体没有固定的熔点，其强度、导电性、导热性等低于晶体。玻璃体无固定的几何外形，具有各向同性，破坏时也无清楚的解理面，加热时无固定的熔点，只出现软化现象。同时，因玻璃体是在快速急冷下形成的，故内应力较大，具有明显的脆性，如玻璃。

由于玻璃体在凝固时质点来不及作定向排列，质点间的能量只能以内能形式储存起来，因此玻璃体具有化学不稳定性，亦即存在化学潜能，在一定的条件下，易与其他物质发生化学反应，例如粉煤灰、水淬粒化高炉矿渣、火山灰等均属玻璃体。玻璃体常被大量用作硅酸

盐水泥的掺合料，以改善水泥性质。

(3) 胶体。

物质以极其微小的颗粒（粒径为 $10^{-9} \sim 10^{-7} \text{m}$ ）分散在连续相介质中形成的结构，称为胶体。其中分散粒子一般带有电荷（正电荷或负电荷），而介质带有相反的电荷，从而使胶体保持稳定。由于胶体的质点很微小，其总的表面积很大，因而表面能很大，有很强的吸附力，所以胶体具有较强的黏结力。

胶体中分散的微粒作布朗运动时，这种胶体称溶胶。溶胶具有较大的流动性，建筑材料中的涂料就是利用这一性质配制而成的。当溶胶脱水或微粒产生凝聚，使分散质点不能再按布朗运动自由移动时，称为凝胶。凝胶具有触变性，即将凝胶搅拌或振动，又能变成溶胶。水泥浆、新拌混凝土、胶黏剂等均表现出触变性。当凝胶完全脱水则成干凝胶体，它具有固体的性质，即产生强度。硅酸盐水泥主要水化产物的最后形式就是凝胶体。

材料的宏观结构不同，即使组成与微观结构等相同，材料的性质与用途也不同，如玻璃与泡沫玻璃、密实的灰砂硅酸盐砖与灰砂加气混凝土，它们的许多性质及用途有很大的不同。材料的宏观结构相同或相似，则即使材料的组成或微观结构等不同，材料也具有某些相同或相似的性质与用途，如泡沫玻璃、泡沫塑料、加气混凝土等。

1.1.3 材料的构造

材料的构造是指具有特定性质的材料结构单元间的相互组合搭配情况。构造概念与结构概念相比，更强调了相同材料或不同材料的搭配组合关系。

1.1.4 材料中的孔隙与材料性质的关系

1. 孔隙的分类

按孔隙的大小，可将孔隙分为微小孔隙、细小孔隙（毛细孔）、粗大孔隙等。对于无机非金属材料，孔径小于 20nm 的微小孔隙，水或有害气体难以侵入，可视为无害孔。

按孔隙形状可将孔隙分为球形孔隙、片状孔隙（即裂纹）、管状孔隙、墨水瓶状孔隙、带尖角的孔隙等。片状孔隙、管状孔隙、带尖角的孔隙对材料性质的影响较大。

按常压下水能否进入到孔隙中，将常压水可以进入到孔隙称为开口孔隙，而将常压水不能进入到孔隙称为闭口孔隙。另外，开口孔中有些孔不仅与外界相通，而且彼此贯通，称为连通孔。开口孔隙对材料性质的影响较闭口孔隙大，往往使材料的大多数性质降低（吸声性除外）（图 1-1）。

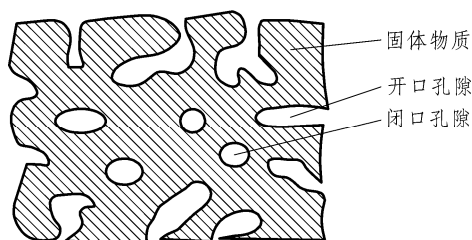


图 1-1 材料内孔隙示意图